



# Зажарить мамонта в микроволновой печи??!!





Да, было, было!.. Помнят московские старожилы знаменитого Грибоедова! Что отварные порционные судачки! А стерлядь, стерлядь в серебристой кастрюльке, стерлядь кусками, переложенными раковыми шейками и свежей икрой? А яйца-кокотт с шампиньоновым пюре в чашечках? А филейчики из дроздов вам не нравились? С трюфелями? Перепела по-генуэзски?

М. Булгаков  
Мастер и Маргарита



# Способы приготовления пищи

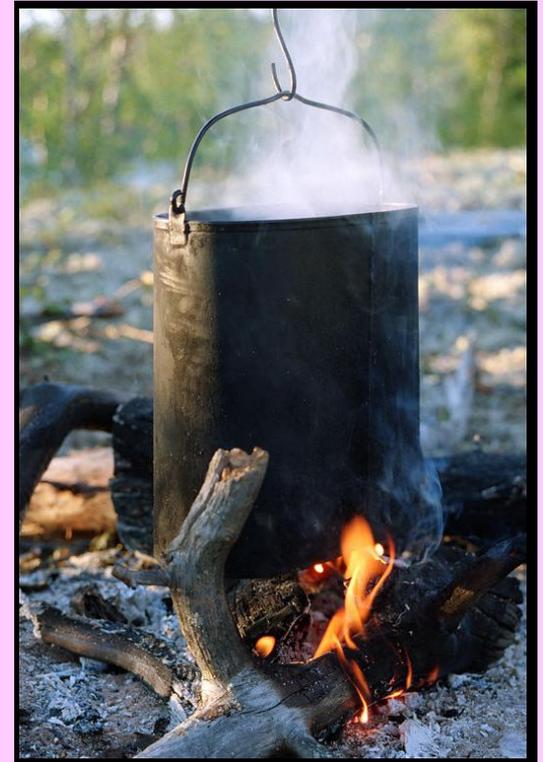
За всю историю человечества придумано всего ДВА принципиально разных способа приготовления пищи:

1. Прогрев пищи путем непосредственной теплопередачи (возможно с привлечением конвекции).

(варка на пару, варка в кастрюле)

2. Прогрев пищи путем инфракрасного облучения.

(жарка шашлыка на углях)





# Лирическое отступление



- **Майкл Фарадей (1791-1867)**
- **Время:** 1831 год
- **Место:** Англия
- **Открытие:**  
закон электромагнитной индукции
- **Суть:** в проводнике, помещенном в переменное магнитное поле, возникают вихревые (замкнутые) индукционные токи, называемые **токами Фуко**. В результате их протекания выделяется тепло. При определенных частоте и амплитуде изменения магнитного поля тепла оказывается достаточно для плавления металлов
- **Результат:**  
появление электроплавильных печей



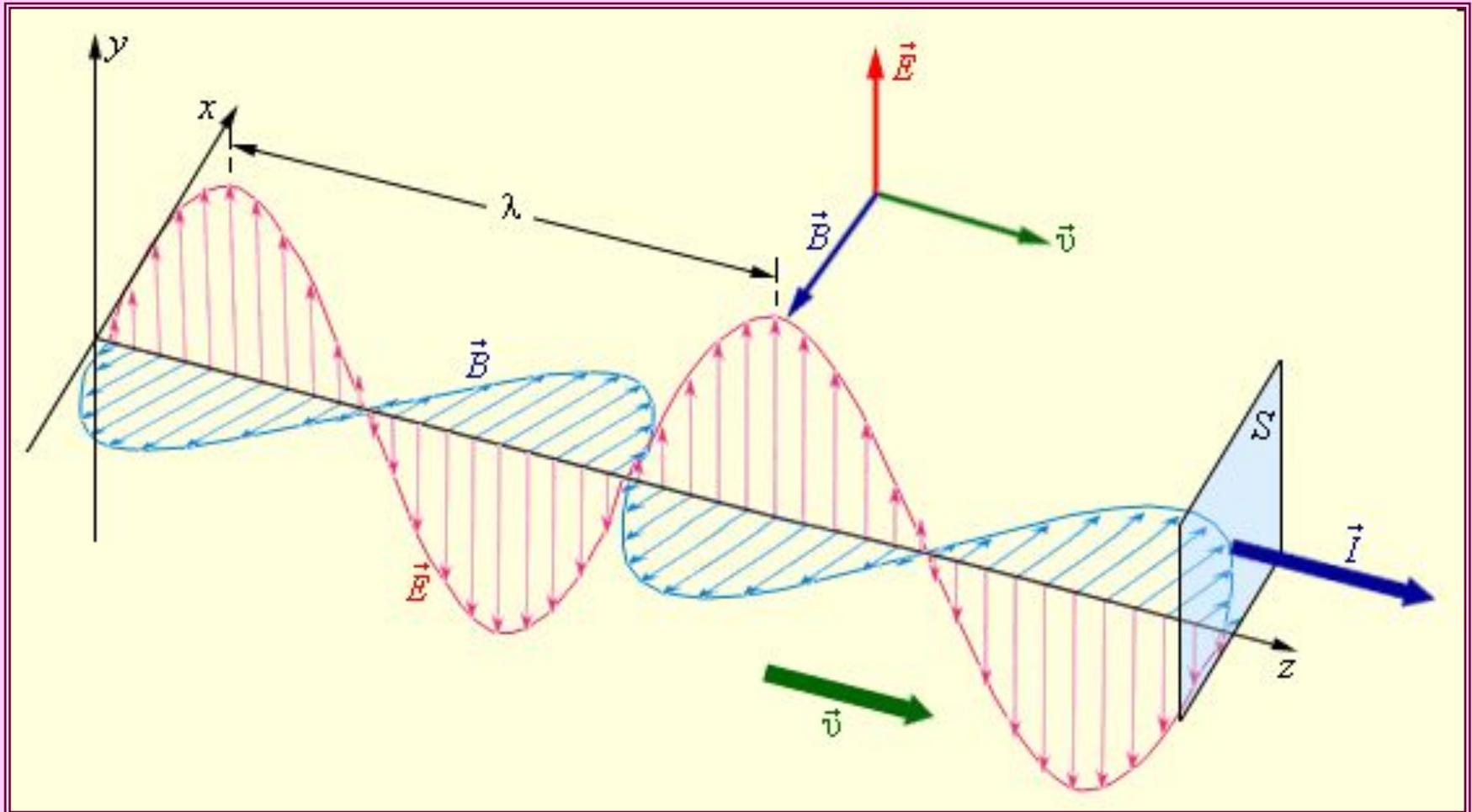
# А через 100 лет...

- **Время:** 60е годы XX-го века
- **Место:** околоземная орбита
- **Проблема:** недостаточное питание космонавтов “из тюбиков”
- **Но:** земные способы готовки не подходят из-за
  - необходимости кислорода
  - невесомости (почему? :) )
- **Выход:** появление кухонного аналога электроплавильной печи (все продукты во многом состоят из воды, вода – электролит, значит проводит ток!)





# Переменное магнитное поле? – Электромагнитные волны!





# Что общего у СВЧ-печи и скрипки?



При создании печи стояло **2 проблемы**:

1. Не всякая э/м волна зажарит кусок мяса (светить на отбивную фонариком бесполезно, максимум - она позеленеет. :))
2. Волну, способную зажарить мясо, надо куда-то “запереть”, чтобы она не натворила бед.



Куда? – В **резонатор** (как звук в скрипке)

**Требования к резонатору:**

- на длине “ящика” должно укладываться целое число длин полуволин
- “ящик” должен быть металлическим



# Венец творения

Резонатор + миниатюрные излучатели =

## **СВЧ-печь!**

(СВЧ – сверхвысокочастотное  
излучение)



### **Параметры:**

- стандартная частота излучения:  
 $\nu = 2450 \text{ МГц}$
- длина волны:  $\lambda = c/\nu \approx 12,2 \text{ см}$



# Не работает!



Положим в печь (в специальной посуде!) большой замороженный кусок мяса. Включим печь. Что будет?

Мясо снаружи зажарилось, а внутри даже не разморозилось. Почему?

Версии:

- неравномерное распределение э/м поля внутри печи

Но: столик вращается, что приводит к усреднению действия свч-поля по объему

- скин-эффект...



# Скин-эффект

**Скин-эффект** – свойство высокочастотных токов протекать лишь в поверхностном слое проводника.

**Причина:** э/м поле, попав внутрь проводника, приводит в движение электроны, возникают токи, энергия волны расходуется на тепловые потери

**Результат:** глубина проникновения поля в проводник зависит от частоты и удельной проводимости проводника следующим образом

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \omega \sigma}}$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$   $12,56 \cdot 10^{-7} \text{ (Ом} \cdot \text{с)/м}$  · - магнитная постоянная

$\sigma$  – удельная проводимость проводника

$\omega$  – частота внешнего поля



# Мамонта в студию!

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \omega \sigma}}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

СВЧ-печь:  $\omega = 2450 \text{ МГц}$

Удельная проводимость меди (хорошего проводника):  $\sigma = 6 \times 10^7 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$

Глубина проникновения для меди:

$$\delta_{\text{медь}} = \sqrt{\frac{2}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 10^7}} = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ см}$$

Удельная проводимость мышечной ткани:  $\sigma = 2,5 \text{ Ом}^{-1} \times \text{м}^{-1}$

Для мамонта в СВЧ-печи глубина проникновения :

$$\delta_{\text{мамонт}} = \sqrt{\frac{2}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 2,5}} = 0,023 \text{ м} = 2,3 \text{ см}$$

**Поджарится только кожа!!!**



# Сварить яйцо просто?



- **Задача:** сварить в микроволновке яйцо
- **Ход процесса:**
  - поместим яйцо в печь
  - включим печь
  - по жидкому содержимому внутри яйца начинают течь токи Фуко
  - содержимое резко нагревается
  - давление повышается
  - скорлупа лопается
  - **ВЗРЫВ!!!**
- **Что произошло? ;)**
- **Выход:** варить яйцо, **ПОЛНОСТЬЮ** погрузив его в воду



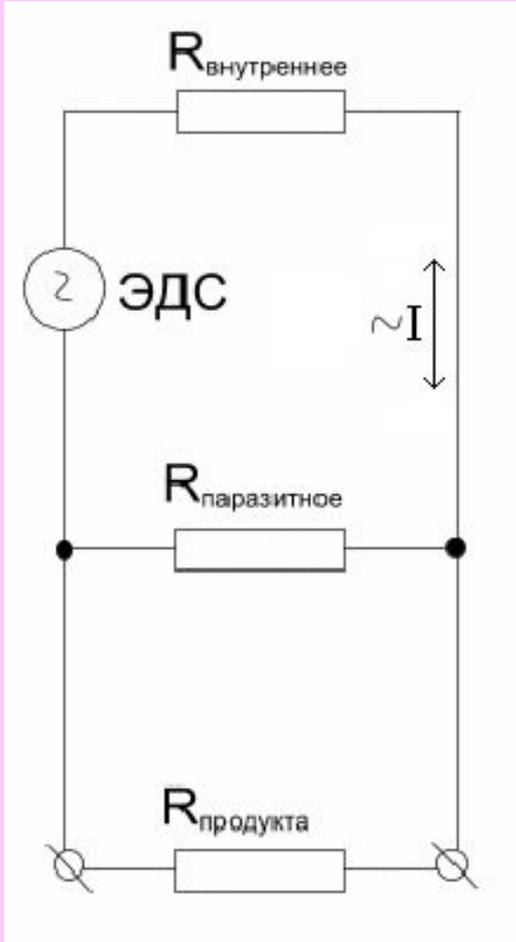
# Как же оно работает?

$$R_{\text{продукта}} \approx R_{\text{внутреннее}} \ll R_{\text{паразитное}}$$

Мощность, выделяемая на источнике:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ист}} &= \varepsilon I = \varepsilon \frac{\varepsilon}{R_{\text{внутр}} + \frac{R_{\text{паразит}} \cdot R_{\text{продукта}}}{R_{\text{паразит}} + R_{\text{продукта}}}} = \\
 &= \varepsilon \frac{\varepsilon}{R_{\text{внутр}} + \frac{R_{\text{продукта}}}{1 + \frac{R_{\text{паразит}}}{R_{\text{продукта}}}}} = \varepsilon \frac{\varepsilon}{R_{\text{внутр}} + \frac{R_{\text{продукта}}}{\infty}} = \\
 &= \varepsilon \frac{\varepsilon}{R_{\text{внутр}} + \frac{R_{\text{продукта}}}{1 + 0}} = \varepsilon \frac{\varepsilon}{R_{\text{внутр}} + R_{\text{продукта}}} \approx \varepsilon \frac{\varepsilon}{2R_{\text{внутр}}} = \frac{\varepsilon^2}{2R_{\text{внутр}}}
 \end{aligned}$$

$$R_{\text{вт}}^{\text{ист}} = \frac{\varepsilon^2}{2R_{\text{внутр}}} \boxtimes 1$$





# Как же оно работает?

$$R_{\text{продукта}} \approx R_{\text{внутреннее}} \ll R_{\text{паразитное}}$$

Тепловые потери на внутреннем сопротивлении и самом продукте:

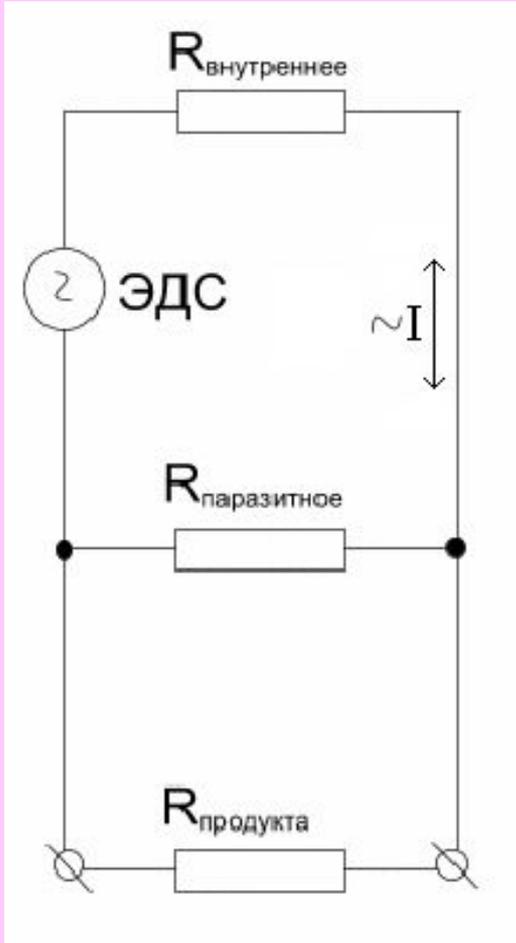
$$P_{\text{внутр}} = \frac{U_{\text{внутр}}^2}{R_{\text{внутр}}} = \frac{\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^2}{R_{\text{внутр}}} = \frac{\varepsilon^2}{4R_{\text{внутр}}} \approx \frac{\varepsilon^2}{4R_{\text{прод}}} = P_{\text{прод}}$$

$$P_{\text{внутр}} = P_{\text{прод}} = \frac{P_{\text{ист}}}{2} = 0,5 P_{\text{ист}}$$

Тепловые потери на паразитном сопротивлении:

$$P_{\text{паразит}} = \frac{U_{\text{паразит}}^2}{R_{\text{паразит}}} = \frac{\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^2}{R_{\text{паразит}}} = \frac{\varepsilon^2}{4R_{\text{паразит}}} \approx \frac{\varepsilon^2}{4 \cdot \infty} \rightarrow 0$$

$$P_{\text{паразит}} \rightarrow 0$$





# Включим пустую печку?..

$$R_{\text{продукта}} \rightarrow \infty, R_{\text{внутреннее}} \ll R_{\text{паразитное}}$$

Тепловые потери на внутреннем сопротивлении:

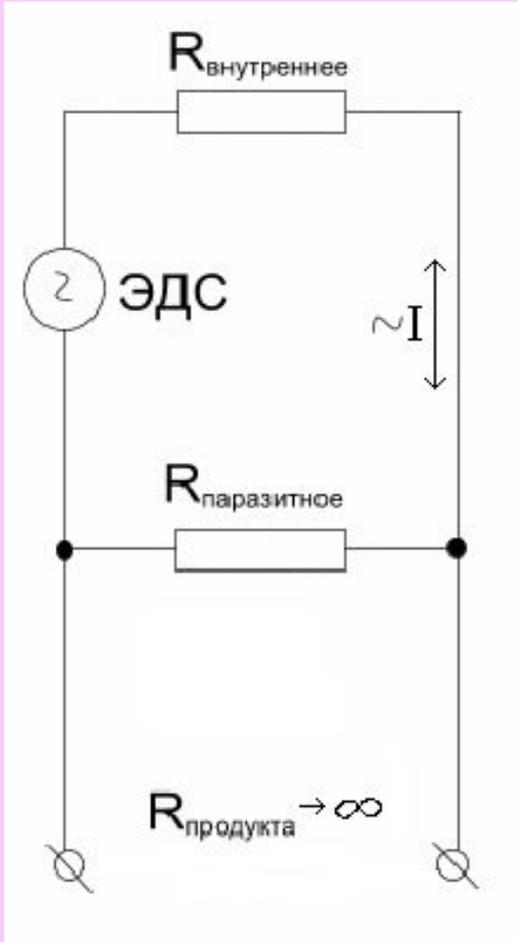
$$P_{\text{внутр}}^{\text{пустой}} = I_{\text{внутр}}^2 \cdot R_{\text{внутр}} = \left( \frac{\varepsilon}{R_{\text{параз}}} \right)^2 \cdot R_{\text{внутр}} = 2P_{\text{ист}} \cdot \left( \frac{R_{\text{внутр}}}{R_{\text{параз}}} \right)^2$$

$$P_{\text{внутр}}^{\text{пустой}} \ll P_{\text{внутр}}$$

Тепловые потери на паразитном сопротивлении:

$$P_{\text{паразит}}^{\text{пустой}} = I_{\text{паразит}}^2 \cdot R_{\text{паразит}} \approx \frac{\varepsilon^2}{R_{\text{паразит}}} \approx 4P_{\text{паразит}}$$

$$P_{\text{паразит}}^{\text{пустой}} \approx 4P_{\text{паразит}}$$

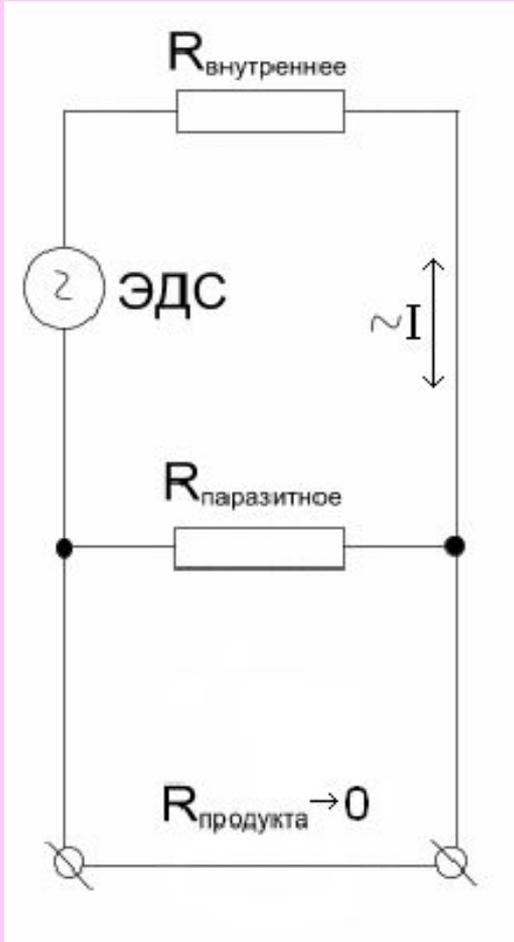


**Включение пустой печи ведет к выходу из строя  
излучающих элементов!!!**



# Гусь, запеченный в фольге?

$$R_{\text{продукта}} \rightarrow 0, R_{\text{внутреннее}} \ll R_{\text{паразитное}}$$



Тепловые потери на внутреннем сопротивлении:

$$P_{\text{ф фольга}}^{\text{внутр}} = \frac{U_{\text{внутр}}^2}{R_{\text{внутр}}} \approx \frac{\mathcal{E}^2}{R_{\text{внутр}}} = 4P_{\text{внутр}}$$

$$R_{\text{ф фольга}}^{\text{внутр}} \approx 4P_{\text{внутр}} = 2P_{\text{ист}} = 2$$

**Металлические предметы,  
помещенные в камеру  
микроволновой, печи приводят к  
короткому замыканию  
генератора!!!**



# Труба зовет!

Оцените, глубоко ли проникают радиоволны в мозг говорящего по сотовому телефону GSM?

$$\nu \sim 1800 \text{ МГц}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \omega \sigma}} = \sqrt{\frac{2}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1800 \cdot 10^6 \cdot 2,5}} = 0,027 \text{ м} = 2,7 \text{ см}$$





Спасибо за внимание!

